

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 792 088**

51 Int. Cl.:

A61N 1/36 (2006.01)

A61N 1/05 (2006.01)

A61N 1/04 (2006.01)

H01R 4/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.05.2017 PCT/IB2017/053056**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.11.2017 WO17203441**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2017 E 17737365 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.03.2020 EP 3463560**

54 Título: **Sistema de interconexión eléctrica entre un conductor intrínsecamente extensible y uno no intrínsecamente extensible**

30 Prioridad:

24.05.2016 IT UA20163746

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

10.11.2020

73 Titular/es:

**WISE S.R.L. (100.0%)
Via Michelangelo Buonarroti, 38
20093 Cologno Monzese (MI) , IT**

72 Inventor/es:

**MARELLI, MATTIA;
ANTONINI, ALESSANDRO;
GHISLERI, CRISTIAN;
SPREAFICO, LAURA y
FERRARI, SANDRO**

74 Agente/Representante:

RUO, Alessandro

ES 2 792 088 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de interconexión eléctrica entre un conductor intrínsecamente extensible y uno no intrínsecamente extensible

5

Campo de la invención

[0001] La presente invención se refiere a un sistema para obtener la interconexión eléctrica entre un conductor intrínsecamente extensible y uno no intrínsecamente extensible; en particular, el sistema de la invención encuentra aplicación en la fabricación de dispositivos implantables en el cuerpo humano o animal, altamente conformables y deformables, para neuroestimulación y/o neurograbación.

10

Técnica anterior

[0002] En muchas áreas del campo existe la necesidad de establecer una conexión eléctrica estable entre conductores rígidos o como mucho flexibles, como hilos o pistas de placas de circuito impreso, sometidos a tensiones mecánicas como la deformación, vibración o compresión. Estas deformaciones actúan por lo general en direcciones transversales a la línea ideal formada por la unión de los dos conductores. Las soluciones desarrolladas (también objeto de patentes) se centran en métodos para reducir o cancelar las fuerzas en la interfaz de la interconexión entre los dos conductores, para evitar fracturas en el material que forma el conductor.

15

20

[0003] En años recientes, los conductores que han sido estudiados y aún están en desarrollo, además de ser flexibles son intrínsecamente extensibles, es decir, capaces de sufrir un alargamiento (reversible) en la dirección de conducción de electricidad; siendo utilizables en cualquier situación que requiera un conductor, la principal aplicación prevista es la producción de electrodos implantables en el cuerpo humano (y animal), lo que requiere que dichos electrodos puedan seguir todas las deformaciones de la parte en la que se insertan, incluyendo alargamiento y retornos a la longitud inicial sin pérdida de continuidad y de las principales características eléctricas.

25

[0004] Un primer método propuesto para producir conductores con estas características consiste en preparar líneas metálicas (hilos o depósitos finos) con un patrón ondulante dentro de polímeros elastoméricos biocompatibles, haciendo que uno o más contactos eléctricos emerjan a la superficie del polímero en puntos predefinidos dependiendo de la aplicación prevista; cuando el polímero sufre el alargamiento, la forma ondulada de la línea de metal permite estirarla o acortarla. Los conductores de este tipo se describen, por ejemplo, en las patentes US 7.085.605 B2 y US 7.265.298 B2.

30

35

[0005] Un segundo enfoque se describe en la patente de Estados Unidos 9.107.592 B2, y consiste en depositar (con métodos conocidos) pistas de metal sobre un elastómero previamente estirado; después del depósito, se deja que el elastómero vuelva a su tamaño "en reposo" y el depósito de metal se redistribuye geométricamente para seguir la contracción del mismo.

40

[0006] Finalmente, otro enfoque alternativo se describe en la solicitud de patente internacional WO 2011/121017 A1 asignada al presente solicitante. De acuerdo con este método, la línea conductora se crea implantando en un polímero elástico agregados de metales de tamaño nanométrico (por ejemplo, titanio); los ejemplos proporcionados en la solicitud muestran que aunque el depósito consiste en partículas discretas, se garantiza la continuidad eléctrica, así como su retención incluso después de decenas de miles de ciclos de alargamiento/acortamiento del conductor.

45

[0007] Los conductores de este tipo, que se pueden estirar a lo largo de la dirección principal de conducción eléctrica, son referidos en el presente texto y en las reivindicaciones como "intrínsecamente extensibles", o incluso simplemente extensibles.

50

[0008] Los problemas de crear puntos de contacto entre diferentes conductores, mencionados anteriormente, son mucho más complejos cuando uno de los dos conductores es intrínsecamente extensible; problemas similares se encuentran si los dos conductores son del tipo intrínsecamente extensible, pero tienen una gran diferencia en el módulo de elasticidad.

55

[0009] Las soluciones adoptadas tradicionalmente para conectar conductores rígidos o como mucho flexibles no son adecuadas para estos casos en los que, además de las deformaciones mencionadas anteriormente, en el área de contacto también hay deformaciones longitudinales debido a las fuerzas que actúan en direcciones opuestas a lo largo de la línea ideal formada por la unión de los dos conductores.

60

[0010] De hecho, la interconexión entre una estructura conductora blanda y extensible y una no extensible (como un hilo de metal), conectadas entre sí y sometidas a tensiones y deformaciones, es muy crítica porque las tensiones se acumulan principalmente en este punto, dando lugar a fallos mecánicos y consecuentes interrupciones de energía.

65

[0011] El problema se complica aún más por el hecho de que, con miras a la aplicación biomédica, y particularmente a implantes en el cuerpo humano, la interconexión eléctrica debe integrarse en el espacio más pequeño posible y posiblemente incluso permitir la interconexión de muchos contactos en paralelo.

5 [0012] Una posible solución (como se describe en Bossuyt F. *et al*, "Tecnología Electrónica Elástica Para Aplicaciones De Gran Área: Fabricación Y Caracterización Mecánica", Transacciones IEEE en componentes, Envasado y Tecnología de Fabricación 3, n.º 2 (febrero de 2013): 229-35. doi: 10.1109 / TCPMT.2012.2185792) es
10 integrar una estructura rígida ("armadura") en la región de interconexión de la parte extensible, para evitar que la tensión mecánica actúe en esta área; la armadura puede ser, por ejemplo, una lámina no extensible integrada en el sustrato extensible en el área de interconexión o medidas similares. Sin embargo, este enfoque es simplemente una forma de llevar el problema a la interconexión entre dos partes rígidas y, requiere la integración de una parte adicional (armadura) en el dispositivo, esto no es adecuado al mismo tiempo de resolver el problema de reducir el tamaño de la interconexión; por esta razón, el uso de una armadura no es óptimo para fabricar un dispositivo médico en el que la miniaturización es un requisito previo.

15 [0013] La solicitud de patente US 2003/0233133 A1 describe un sistema para la interconexión eléctrica entre un circuito integrado y una pista conductora sobre un sustrato flexible; el sistema descrito en este documento constituye una mejora con respecto a los sistemas anteriores, pero no permite la conexión eléctrica con pistas conductoras depositadas en sustratos extensibles, como es necesario para la conexión de dispositivos implantables en el cuerpo humano o animal para seguir sus movimientos.

Sumario de la invención

25 [0014] El objeto de la presente invención es proporcionar un sistema para la creación de un contacto eléctrico estable entre un conductor elástico y extensible y uno no extensible, o entre dos conductores extensibles que tienen un módulo elástico diferente, adaptado para aliviar la tensión en la región de interconexión entre los dos conductores sin usar armaduras rígidas adicionales.

30 [0015] Este objeto se logra con un sistema como se define en las reivindicaciones.

Breve descripción de las Figuras

[0016]

- 35 - las Figuras 1A, 1A' y 1B muestran vistas en sección de un sistema de acuerdo con una primera realización de la invención;
- la Figura 2 muestra una vista en perspectiva de un sistema de las Figuras 1A, 1A' y 1B;
- las Figuras 3A y 3B muestran dos vistas en sección de un sistema de acuerdo con una segunda realización de la invención;
40 - la Figura 4 muestra una vista en perspectiva de un sistema de las Figuras 3A y 3B;
- la Figura 5 muestra una vista en sección de una realización particular de la conexión eléctrica entre el conductor externo y la estructura conductora extensible;
- las Figuras 6 y 7 muestran dos posibles geometrías de sistemas formados por sustratos extensibles en los que están presentes las estructuras conductoras extensibles conectadas a conductores externos de acuerdo con la
45 invención.

Descripción detallada de la invención

50 [0017] Las características y ventajas de la invención se describirán en detalle, con referencia a las Figuras, en la siguiente descripción. En las Figuras, las diversas partes no están a escala y las anchuras de algunas áreas, y especialmente el espesor de algunas capas, puede aumentar mucho para mayor claridad de representación; Adicionalmente, en todas las Figuras, los números de referencia iguales corresponden a elementos similares.

55 [0018] El sistema de interconexión de la invención permite obtener una conexión eléctrica estable entre un sustrato elástico y extensible en el que hay al menos una estructura conductora extensible y al menos un conductor externo; el material adhesivo y eléctricamente aislante interpuesto entre la placa de interconexión y el sustrato elástico y extensible es elástico. El sustrato elástico y extensible y la placa de interconexión tienen por lo general estructuras conductoras en una sola cara; las caras de dicha placa y de dicho sustrato en las que están presentes las estructuras conductoras se definen como "caras funcionalizadas" en la presente descripción y en las
60 reivindicaciones.

[0019] Una primera realización del sistema de interconexión de la invención se muestra en las Figuras 1A y 1B. Estas Figuras muestran vistas del sistema en dos secciones mutuamente ortogonales: en particular, la vista en la Figura 1A es una sección a lo largo de la línea de puntos B-B' en la Figura 1B, y la vista en la Figura 1B es una
65 sección a lo largo de la línea de puntos A-A' en la Figura 1A. La Figura 1A muestra, por simplicidad, la conexión entre una sola pista conductora en la placa de interconexión y una sola estructura conductora extensible en el

sustrato elástico y extensible pero, como se describe más adelante, los sistemas de interconexión de la invención conectan normalmente múltiples conductores externos al sistema (en adelante, simplemente "conductores externos") a múltiples estructuras conductoras extensibles; el caso más común es que los conductores externos y las estructuras conductoras extensibles estén en igual número y conectados en modo "uno a uno", pero también se pueden implementar sistemas en modo de multiplexación, en los que múltiples estructuras conductoras extensibles se ponen en contacto con un solo conductor externo.

[0020] El sistema 100 en las Figuras 1A y 1B consiste en una placa plana y no extensible 110 con una pista conductora 111 en una cara funcionalizada de la misma; un sustrato elástico y extensible 120, en una cara funcionalizada en la que está presente la estructura conductora extensible 121 expuesta en la superficie del sustrato; y al menos un depósito 101 de un aislante eléctrico, preferentemente material adhesivo elástico interpuesto entre dicha placa 110 y el sustrato 120. La placa 110 y el sustrato 120 tienen las caras funcionalizadas respectivas enfrentadas entre sí y el depósito 101 se adhiere a estas caras funcionalizadas. En la práctica, cuando la placa 110 y el sustrato 120 se ponen en contacto entre sí, la presencia de la pista que sobresale 111 provoca la formación de un espacio vacío entre las caras funcionalizadas de la placa y el sustrato, que se carga después con el material del depósito 101. El acoplamiento entre la placa 110 y el sustrato 120 a través del material del depósito 101 se logra aplicando una fuerza (mostrada por las flechas 500) que mantiene la pista 111 presionada contra la estructura conductora extensible 121, deformándose así elásticamente junto con el sustrato 120; esta condición se muestra en la Figura 1A, que muestra cómo el sustrato 120 y la estructura 121 se deforman por compresión en el área en contacto con la pista 111. De esta forma, el material de depósito 101 asegura la adhesión entre el sustrato y la placa, manteniendo una presión residual entre la pista 111 y la estructura 121 incluso después de eliminar la fuerza aplicada durante el montaje, como se muestra en la Figura 1A'. En el caso preferido en el que el depósito 101 es elástico, también garantiza que dicha pista y dicha estructura conductora extensible permanezcan en contacto también en el caso de sus movimientos relativos en las direcciones del plano paralelo a las caras funcionalizadas; estos movimientos pueden ser a lo largo de una dirección paralela al eje de la pista 111 y la estructura 121, a lo largo de una dirección ortogonal a este eje, de modo que la pista 111 y la estructura 121 se mueven lateralmente entre sí, o a lo largo de direcciones que son combinaciones de estas dos direcciones principales. El área cubierta por depósitos 101 es lo suficientemente amplia como para absorber la tensión generada durante la deformación del contacto, sin causar su rotura cuando el sustrato elástico y extensible 120 se deforma a los grados de alargamiento normales a los que puede ser sometido por los movimientos del cuerpo humano después de la implantación en el mismo.

[0021] En un extremo de la placa 110 (véase Figura 1B) hay un conductor externo 103 para la conexión eléctrica del sistema con dispositivos externos, por ejemplo, un sistema de grabación de señal eléctrica o un sistema de estimulación eléctrica para neurofisiología, en caso de uso de estructuras conductoras extensibles como electrodos para neuromodulación; este conductor puede ser de cualquier tipo, por ejemplo, rígido, elástico pero no extensible o a su vez extensible; normalmente, el conductor externo 103 es un hilo eléctrico, por ejemplo, de cobre. El conductor 103 está en contacto eléctrico con la pista 111 a través de una abertura 112 en la placa 110. A continuación se ilustran los métodos específicos para establecer una conexión entre el conductor 103 y la pista 111 a través de la abertura 112.

[0022] Como se ha mencionado anteriormente, las Figuras 1A, 1A' y 1B muestran un sistema en el que se establece una interconexión única entre una pista 111 y una estructura conductora 121, pero el sistema de la invención es particularmente útil para implementar múltiples interconexiones entre múltiples conductores externos y múltiples estructuras conductoras extensibles, que pueden ser iguales o diferentes en número en comparación con los conductores externos. La Figura 2 muestra una vista en perspectiva de un sistema de interconexión 100; en esta Figura, por simplicidad, no se muestra la leve depresión de las estructuras 121 en las pistas 111. Hay tres pistas 111 en la placa 110, en contacto con tantas estructuras conductoras extensibles 121 presentes en el sustrato elástico y extensible 120; las tres pistas se conectan a tres conductores externos 103, a través de orificios pasantes 112 en la placa 110; la Figura muestra también la ubicación, en esta realización del sistema de interconexión de la invención, de los depósitos 101.

[0023] Para la producción de los componentes del sistema de la invención, se pueden utilizar todos los materiales que tengan propiedades físicas y químicas adecuadas. Como ejemplos, podemos mencionar:

- para la construcción de la placa 110, se puede utilizar un material eléctricamente aislante, generalmente fabricado de un material polimérico; la placa puede ser rígida o preferentemente flexible, pero no extensible; normalmente, esta placa es del mismo tipo que las utilizadas para la producción de placas de circuito impreso (PCBs);
- las pistas 111 se fabrican de metal, por ejemplo, cobre, plata, oro, aleaciones basadas en platino o cobalto-níquel, y se pueden depositar con cualquier técnica conocida, tal como la técnica de revestir toda la cara de la placa con metal, enmascarar con tintas de las partes correspondientes a las pistas que se van a producir, y eliminación selectiva de partes metálicas no enmascaradas con grabados químicos (normalmente baños ácidos); o, como alternativa, con técnicas de deposición selectiva a través de enmascaramiento (por ejemplo, pulverización catódica);
- para el sustrato elástico y extensible 120, se puede usar cualquier material polimérico elastomérico; ejemplos de

tales materiales son los elastómeros de poliuretano, fluoropolímeros elastoméricos, elastómeros a base de poliolefina, polibutadieno (BR), gomas de estireno-butadieno (SBR), gomas etileno-propileno (EPR), gomas de etileno-propileno-dieno (EPDM), gomas de nitrilo (NBR), gomas acrílicas (ACM), las gomas basadas en isobutileno e isopreno (IIR), y preferentemente siliconas (polisiloxanos);

- 5 - las estructuras conductoras extensibles 121 en el sustrato están hechas mediante la implantación de partículas de materiales conductores, normalmente metales (como el oro) en la superficie del sustrato; la técnica preferida para lograr la implantación es "Implantación de Haz De Aglomerado Supersónico" o SCBI, descrita en la solicitud de patente WO 2011/121017 A1 asignada al presente solicitante;
- 10 - el material adhesivo para hacer depósitos 101 puede ser no elástico, tal como una resina epoxídica u otro polímero; preferentemente, aunque, dicho material es elástico y es normalmente una silicona;
- finalmente, los conductores externos 103 pueden ser de cualquier tipo conocido, por ejemplo, un cable o una trenza de metal cubierta con material aislante.

15 **[0024]** En una segunda realización, el sistema de la invención (200) comprende además un depósito adicional de un material elástico, adhesivo y eléctricamente conductor, interpuesto entre la pista en la placa y la estructura conductora en el sustrato elástico y extensible. Esta realización se muestra en las Figuras 3A y 3B, representando vistas en dos secciones mutuamente ortogonales similares a las de las Figuras 1A y 1B (la vista en la Figura 3A es una sección a lo largo de la línea de puntos B-B' en la Figura 3B y la vista en la Figura 3B es una sección a lo largo de la línea de puntos A-A' en la Figura 3A); también las Figuras 3A y 3B muestran, por conveniencia, solo una
20 interconexión entre una pista y una estructura conductora extensible.

[0025] El sistema 200 consiste en un tablero plano y no extensible 110 con una pista conductora 111 en una cara del mismo; un sustrato elástico y extensible 120, en una cara de la que está presente la estructura conductora extensible 121; y al menos un depósito 101 de un aislante eléctrico, preferentemente material adhesivo elástico
25 interpuesto entre las caras funcionalizadas de dicha placa 110 y el sustrato 120. En este caso, sin embargo, la pista 111 y la estructura conductora extensible 121 no están en contacto directo entre sí, sino a través de un depósito 102 de un material elástico, adhesivo y eléctricamente conductor, que se adhiere a los dos elementos mencionados y asegura la continuidad eléctrica entre ellos. Con esta configuración, el contacto eléctrico entre la pista 111 y la estructura conductora 121 está garantizado, además de los movimientos relativos en el plano, también para
30 pequeños movimientos perpendiculares al plano de las caras funcionalizadas, es decir, movimientos que alejan la pista 111 de la estructura 121; por otra parte, esta configuración aumenta la superficie de adhesión (y, por lo tanto, la resistencia de adhesión) entre la placa 110 y el sustrato 120.

[0026] Los materiales para producir un sistema del tipo 200 son los mismos que se mencionan para la primera
35 realización; el mismo material utilizado para los depósitos 101 se utiliza para la producción de depósitos 102, pero cargado de partículas conductoras, normalmente polvo metálico y preferentemente de plata, para hacer el depósito eléctricamente conductor. Los materiales útiles para este fin se describen en la patente de Estados Unidos 7.537.712 B2, titulada "Composición de goma de silicona eléctricamente conductora".

40 **[0027]** La Figura 4 muestra una vista en perspectiva de un sistema 200, de acuerdo con esta segunda realización; en este caso también, se muestran tres trayectorias conductoras, cada una compuesta por un conductor externo 103, una pista 111, un depósito 102 de material conductor elástico de electricidad, y una estructura conductora extensible 121.

45 **[0028]** La conexión entre los conductores externos 103 y las pistas 111 puede implementarse por cualquier medio y técnica conocida por el experto en la materia, como soldadura (soldadura térmica, soldadura por láser, soldadura ultrasónica), soldadura fuerte, fijación mecánica o pegado con pegamentos conductores de cualquier tipo. En una realización convencional, la conexión se realiza mediante orificios pasantes ("orificios pasantes") 112 realizados en la placa 110, cargados con un material conductor (por ejemplo, estaño) en el que se incrusta un extremo del conductor 103. Como alternativa, se puede utilizar el método descrito en la Figura 5. En este método, la
50 interconexión entre el dispositivo extensible y el conductor 103 se logra con una placa de interconexión de doble cara, que consiste en una placa plana no extensible 110 que tiene pistas conductoras hechas de Cu plateado con Au en ambas caras. En la cara inferior de la placa 110 (la que está frente a la estructura conductora extensible 121) hay una o más primeras pistas 111; en la cara superior de la placa 110 hay una o más segundas pistas 111'. Cada segunda pista 111' está conectada a una primera pista 111 a través de un orificio pasante 112 que también está revestido con un metal (típicamente Au) en el interior, como se muestra en la sección de la Figura 5. El conductor externo 103 está conectado a la pista conductora superior 111' a través de un depósito de material conductor 104 (tal como estaño). La estructura conductora extensible 121 está conectada a la pista 111 a través de un depósito 102 de material elástico, adhesivo y eléctricamente conductor que en esta realización alternativa se distribuye a través del orificio pasante. Esto asegura la conexión eléctrica entre la estructura 121 y el conductor externo 103, a través de los orificios pasantes 112, las pistas superiores 111' y el material conductor 104. Un depósito 101 de un material adhesivo eléctricamente aislante y preferentemente elástico, interpuesto entre la placa 110 y el sustrato 120 (y/o entre la placa 110 y la estructura 121) asegura un acoplamiento mecánico adicional entre la placa de conexión y el dispositivo intrínsecamente extensible.
60

65 **[0029]** En todos los casos, el conductor externo puede soldarse a la pista 111 (o a la pista 111') o pegarse con una

pasta o pegamento conductor.

[0030] El sistema de la invención permite superar diversos problemas en la conexión eléctrica entre partes extensibles y no extensibles. Una solución que usa simplemente un pegamento conductor para poner un hilo no extensible en contacto eléctrico con una estructura conductora extensible, es decir, sin usar la placa de interconexión de la presente invención, no produciría los mismos resultados. De hecho, incluso si un contacto fabricado de esta manera pudiera garantizar un contacto eléctrico en ausencia de tensión mecánica, debido a la baja superficie de contacto disponible en el hilo y la gran discrepancia entre las propiedades mecánicas de las dos partes pegadas, en presencia de dicha tensión, el sistema podría romperse fácilmente, porque la tensión se acumula en la interfaz con el hilo de contacto. Por otra parte, esta solución sería aún más inestable para deformar las tensiones. Finalmente, si se van a implementar múltiples contactos en el mismo dispositivo, un sistema de contacto directo, a través de pegamento de silicona únicamente, se volvería engorroso y difícil de implementar.

[0031] Los inventores han observado sorprendentemente que estos problemas no ocurren con el sistema de la presente invención, ya que esto permite obtener una gran superficie de contacto entre el conductor rígido (o no extensible) y el conductor extensible, para que las fuerzas mecánicas debidas a los movimientos relativos de las dos partes se distribuyan en un área más grande, evitando así la localización de la tensión en el contacto eléctrico y permitiendo que la interconexión de muchos contactos se obtenga de forma eficaz.

[0032] En particular, se ha observado que a través de la presente invención, el sistema permanece bajo condiciones de conducción eléctrica cuando la tensión de corte es capaz de causar un alargamiento de al menos el 5 % de la parte extensible y la tensión se acumula entre el hilo rígido y el sustrato elástico y extensible.

[0033] Resumiendo, las siguientes ventajas y características se obtienen con el sistema de la invención:

- 1: se puede obtener un contacto eléctrico entre al menos una estructura conductora intrínsecamente extensa y una parte conductora no extensible, como un hilo;
- 2: se puede mantener un contacto eléctrico estable incluso cuando se aplica un esfuerzo cortante al sistema que consiste en una estructura extensible y una parte no extensible;
- 3: se puede mantener un contacto eléctrico estable incluso cuando se aplica una tensión de par a la parte no extensible con respecto a la estructura extensible;
- 4: el sistema de interconexión permite establecer contactos eléctricos en paralelo entre diferentes estructuras conductoras intrínsecamente extensibles y las respectivas partes no extensibles (como, por ejemplo, una multiplicidad de hilos);
- 5: la huella de toda la interconexión es lo suficientemente delgada como para permitir la implementación de dispositivos como electrodos de neuromodulación, que generalmente deben usarse en áreas pequeñas del cuerpo humano.

[0034] La invención se describirá adicionalmente mediante los siguientes ejemplos.

Ejemplo 1

[0035] Este ejemplo se refiere a la producción de un sistema de la invención que consiste en la unión de una estructura conductora extensible con hilos conductores de cobre; el sistema, 600, se muestra en la Figura 6.

[0036] El sustrato elástico y extensible 601 tiene un espesor de 200 μm y se fabrica de goma de silicona de dos componentes; se obtiene dispersando en un soporte de vidrio 1 gramo de silicona líquida (MED-6033 de la compañía NuSil Technology LLC, Carpinteria, California, Estados Unidos), se extiende mediante la técnica de revestimiento por giro y se polimeriza durante 30 minutos a 150 $^{\circ}\text{C}$ de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

[0037] Dos pistas de metal extensibles en forma de U, 602 y 602', se obtienen en el sustrato así producido, colocada la primera en la segunda como se muestra en la Figura. Estas pistas consisten en depósitos de platino de 20 nm de espesor obtenidos a través de SCBI, como se describe en la solicitud de patente WO 2011/121017 A1, protegiendo el sustrato usando una máscara metálica (máscara de plantilla) de la forma deseada. Después de eso, se implanta una capa de oro de 150 nm que se superpone exactamente con la de platino a través de SCBI utilizando la misma configuración descrita anteriormente. Las pistas tienen 0,7 mm de anchura y están separadas mutuamente por 0,3 mm. La longitud de la pista U externa es de 21 mm, mientras que el interior es de 18 mm. Las pistas metálicas así obtenidas constituyen las estructuras conductoras extensibles de la invención. La interconexión entre las pistas metálicas extensibles y los cables conductores de cobre 103 se obtiene con una placa de interconexión 110, en la que el modo de conexión es el descrito anteriormente con referencia a la Figura 5, y consiste en una placa de circuito impreso de doble cara. La placa 100 consiste en un soporte polimérico fabricado de FR4 (una resina epoxi reforzada con fibras de vidrio, estándar en el campo) con una longitud de 2 mm, anchura de 4,5 mm y espesor de 0,1 mm, en la que se disponen cuatro pistas conductoras (111, no se muestran en la Figura) realizadas de Cu chapado con Au (tamaño: 1,2 mm x 0,7 mm x 50 μm). Las pistas conductoras de Cu/Au están presentes en ambas caras de la placa. Cada pista está conectada con la subyacente a través de un orificio pasante 112, cuyas paredes internas están a su vez revestidas con Au. Un pegamento de silicona (101) que consiste en silicona líquida de dos

componentes Nusil MED 6033 se distribuye sobre la goma de silicona, interpuesto entre una pista conductora y la otra. La placa de interconexión se coloca sobre el sustrato de silicona, para hacer coincidir las cuatro pistas inferiores con las cuatro partes de extremo de las estructuras conductoras extensibles 602 y 602'. Se aplica una fuerza a la placa de interconexión igual a 1 N, distribuida uniformemente en la superficie de la placa y perpendicular a la superficie misma, para presionarla sobre el sustrato de silicona.

[0038] Esto garantiza tanto el contacto eléctrico entre las pistas extensibles y las pistas conductoras de Cu/Au de la placa 110, como el acoplamiento mecánico entre la placa y el sustrato de silicona elástico y extensible por el material adhesivo 101. La fuerza que presiona la placa de interconexión sobre el sustrato de silicona se mantiene el tiempo necesario para el endurecimiento del material 101, que se obtiene horneando en un horno a 70 °C durante 60 minutos.

[0039] Una vez que el material 101 se ha endurecido, cuatro hilos de cobre (103) de 0,1 mm de diámetro están conectados por soldadura de estaño a las cuatro partes 111' de Cu/Al presentes en la superficie superior de la placa 110, y en contacto con las pistas 111 a través del oro presente en los orificios pasantes 112; cada uno de los cuatro hilos de cobre está aislado eléctricamente con un revestimiento de polímero.

[0040] De esta forma, la interconexión entre un conductor eléctrico no extensible (hilo de cobre) y un conductor eléctrico intrínsecamente extensible (pistas Pt/Au depositadas sobre goma de silicona), a través de una placa de interconexión se completa. La cara superior de la placa 110 está recubierta con una resina epoxi (no mostrada en la Figura) para aislar eléctricamente y reforzar mecánicamente el área soldada con estaño.

[0041] Cada extremo de las pistas 602 y 602' está conectado a un hilo de cobre. Para verificar la retención de la interconexión eléctrica bajo tensión mecánica, se lleva a cabo lo siguiente: se aplica una diferencia de potencial de 1 V entre dos hilos de cobre interconectados a los dos extremos de la misma pista extensible y se mide la resistencia eléctrica del sistema. El dispositivo está sujeto a tensión de tracción, sosteniéndolo por los hilos de cobre en un extremo, y por el extremo 603 del sustrato de silicona en el otro. Se mide una resistencia de aproximadamente 200 ω en reposo. Bajo la tensión de tracción, se observan valores de resistencia de aproximadamente 270 ω , 390 ω y 880 ω , para extensiones de sustrato de silicona igual al 5 %, 10 %, 20 %, respectivamente. Devolviendo el dispositivo a la posición de descanso, la resistencia vuelve a un valor de 200 ω .

Ejemplo 2

[0042] Este ejemplo se refiere a la producción de otro sistema de la invención que consiste en la unión de una estructura conductora extensible con hilos conductores de cobre; el sistema, 700, se muestra en la Figura 7.

[0043] Se repite el procedimiento descrito en el Ejemplo 1 para el acoplamiento entre un sustrato elástico y extensible y una placa de interconexión 110 a la que se conectan cuatro hilos de cobre 103, con la única diferencia de la diferente estructura de la estructura conductora extensible.

[0044] La parte extensible del sistema consiste en un sustrato elástico y extensible 701 en el que están presentes cuatro pistas metálicas extensibles 702 de Au/Pt, terminada por un electrodo de Pt, 703, también extensible. En su parte más angosta (la más cercana a la placa de interconexión), las pistas tienen 0,7 mm de anchura y están mutuamente separadas a 0,3 mm; las cuatro pistas tienen 12, 22, 32 y 44 mm de largo, respectivamente. Los electrodos de Pt (703) son circulares, con un diámetro de 3,5 mm. Las pistas se realizan mediante la deposición de nanopartículas de Pt y Au sobre un sustrato de goma de silicona de aproximadamente 200 μ m de espesor; el sustrato y las pistas se producen como se describe en el ejemplo 1. En detalle, las pistas se obtienen depositando una capa de Pt de 20 nm y después una capa de Au de 75 nm de espesor; los electrodos 703 se obtienen depositando 150 nm de Pt y superponiendo parcialmente las pistas de Pt/Au en el electrodo de Pt para garantizar la continuidad eléctrica entre los dos elementos. Las pistas y electrodos así obtenidos constituyen, junto con el sustrato de silicona, un material compuesto conductor intrínsecamente extensible.

[0045] Después del acoplamiento entre la placa y la estructura conductora extensible, todo el sistema (excepto los hilos de cobre 103) se reviste con una capa de caucho de silicona de 200 μ m de espesor, dejando solo los electrodos de Pt expuestos.

[0046] El dispositivo se sumerge en una solución salina, manteniendo el extremo libre de los hilos de cobre fuera de la solución. También se agrega un contraelectrodo a la solución que consiste en una varilla de Pt y entre el contraelectrodo y cada uno de los cuatro electrodos extensibles, uno a la vez, se aplica una corriente eléctrica aplicando una diferencia de potencial de 1 V. La impedancia del circuito se mide y registra para cada una de las cuatro pistas 702; los valores medidos son 170,175,179 y 183 Ω , respectivamente. Para verificar la retención de la interconexión eléctrica a la fatiga mecánica, el dispositivo se somete después a 1000 ciclos de alargamiento, sujetándolo en un extremo por los hilos de cobre, y en el otro extremo por el extremo (704) de la estructura extensible que está más alejada de la placa de interconexión. En cada ciclo, la estructura extensible se estira en un 10 % de su longitud en reposo, y se devuelve después a la longitud original, a una velocidad de 1 mm/s. Al final de 1000 ciclos, el sistema se sumerge nuevamente en la solución salina y se repite la medición de los cuatro valores de

impedancia, obteniendo valores de 175, 180, 182 y 191 Ω , respectivamente, ligeramente superiores a las registradas en el sistema inmediatamente después de su producción; esto demuestra la resistencia a la fatiga mecánica de la interconexión entre los hilos de cobre y la estructura extensible.

5 **Ejemplo 3**

[0047] Se repite el procedimiento del Ejemplo 2.

10 [0048] En este caso, los cuatro orificios pasantes 112 en la placa 110 están cargados de silicona conductora CV 2644 (NuSil), preparada de acuerdo con las instrucciones del fabricante; la conductividad de la silicona conductora se debe a la presencia de partículas de Ag en su interior. La silicona conductora se carga en una jeringa y se distribuye dentro de cada una a través de una aguja. La silicona conductora carga el orificio 112, creando así el contacto eléctrico entre la pista conductora extensible subyacente y las pistas conductoras de metal Cu/Au de la placa de interconexión. El dispositivo se hornea a 70 °C durante una hora, para curar la silicona conductora. En el sistema resultante, siguiendo el método del Ejemplo 2, la impedancia se mide para cada una de las cuatro pistas y cuatro contactos eléctricos 703, obteniendo valores de 173, 177, 182 y 185 Ω .

15 [0049] A continuación, el sistema se somete al mismo programa de fatiga del Ejemplo 2 (1000 ciclos de alargamiento al 10 % de la longitud del sistema en reposo, y de vuelta a la longitud original, a una velocidad de 1 mm/s).

20 [0050] Al final del programa de fatiga, la impedancia se mide nuevamente para cada una de las cuatro pistas y los cuatro contactos eléctricos 703, obteniendo valores de 177, 180, 187 y 191 Ω respectivamente, un poco más altos que los registrados en el sistema recién producido, demostrando la resistencia a la fatiga mecánica de la interconexión entre los hilos de cobre y la estructura extensible.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (100; 200; 600; 700) de interconexión eléctrica entre un conductor intrínsecamente extensible y uno no intrínsecamente extensible (103), o entre dos conductores extensibles, que comprende:
- 5 - una placa de interconexión (110) que consiste en un sustrato plano rígido o flexible no extensible, en una cara funcionalizada en la que está presente al menos una pista conductora (111), cada una en contacto eléctrico, en un extremo del mismo, con al menos un conductor externo al sistema que puede ser rígido, elástico o a su vez extensible;
 - 10 - un sustrato elástico y extensible (120; 601; 701) en una cara funcionalizada en la que está presente al menos una estructura conductora extensible (121; 602, 602'; 702);
 - 15 - al menos un depósito (101) de un material adhesivo, elástico y eléctricamente aislante, interpuesto entre dicha placa de interconexión y el sustrato elástico y extensible, que se adhiere a dichas caras funcionalizadas al menos en parte de sus zonas libres de dicha al menos una pista conductora y dicha al menos una estructura conductora extensible, estableciendo la adhesión entre dicha placa y sustrato mientras se permite el movimiento relativo de los mismos y se garantiza el contacto entre dicha al menos una pista conductora y dicha al menos una estructura conductora extensible, opcionalmente a través de al menos un depósito de un material adhesivo, elástico y eléctricamente conductor.
2. Sistema (100) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha pista conductora (111) sobresale con respecto a la superficie de la placa de interconexión (110) y provoca la presencia de un espacio entre la cara de dicha placa de interconexión en la que está presente la pista conductora y la cara de dicho sustrato extensible (120) en la que está presente dicha estructura conductora extensible (121), cargándose dicho espacio con un depósito de material adhesivo, elástico y eléctricamente aislante (101).
- 25 3. Sistema (200) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha pista conductora (111) está en contacto eléctrico con dicha estructura conductora extensible (121) a través de un depósito (102) de un material elástico, adhesivo y eléctricamente conductor, que se adhiere a dicha pista conductora y a la estructura conductora extensible.
- 30 4. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que donde la conexión eléctrica entre el conductor externo y la pista conductora (111) se realiza mediante soldadura térmica, soldadura por láser, soldadura ultrasónica, soldadura fuerte, fijación mecánica o unión con pegamentos conductores.
- 35 5. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la conexión eléctrica entre el conductor externo y la pista conductora (111) presente en la placa de interconexión (110) se realiza a través de un orificio pasante (112) formado en dicha placa.
- 40 6. Sistema de acuerdo con la reivindicación 5, en el que dicho orificio pasante está cargado con un material conductor en el que está incrustado un extremo del conductor externo (103).
- 45 7. Sistema de acuerdo con la reivindicación 5, en el que:
- la placa de interconexión (110) tiene, en su cara opuesta a la que está frente a la estructura conductora extensible, al menos una segunda pista conductora (111') conectada eléctricamente a una primera pista conductora (111) presente en la cara de la placa frente a la estructura conductora extensible a través de una metalización de las paredes del orificio pasante;
 - el conductor externo (103) está conectado a dicha segunda pista conductora (111') a través de un depósito de material conductor (104); y
 - 50 - la estructura conductora extensible (121) está conectada a la primera pista conductora (111) a través de un depósito (102) de material elástico, adhesivo y eléctricamente conductor insertado en el orificio pasante.
8. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que:
- 55 - la placa de interconexión (110) se fabrica de un material eléctricamente aislante, rígido o flexible pero no extensible;
 - la primera y segunda pistas conductoras (111 y 111') se fabrican de metal;
 - el sustrato extensible se fabrica de un material seleccionado de elastómeros de poliuretano, fluoropolímeros elastoméricos, elastómeros a base de poliolefina, polibutadieno (BR), gomas de estireno-butadieno (SBR), gomas de etileno-propileno (EPR), gomas de etileno-propileno-dieno (EP-DM), gomas de nitrilo (NBR), gomas acrílicas (ACM), gomas a base de isobutileno e isopreno (IIR) y siliconas (polisiloxanos);
 - 60 - las estructuras conductoras extensibles (121) están formadas por partículas de materiales conductores;
 - los depósitos (101) de material adhesivo, elástico y eléctricamente aislante, se fabrican de silicona.
9. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la placa de interconexión (110) se fabrica de un material polimérico.
- 65

10. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la primera y segunda pistas conductoras se fabrican de un material seleccionado de cobre, plata, oro, platino o aleaciones a base de níquel-cobalto.

11. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en el que las estructuras conductoras extensibles están formadas por partículas de un material seleccionado de plata, oro y platino.

5

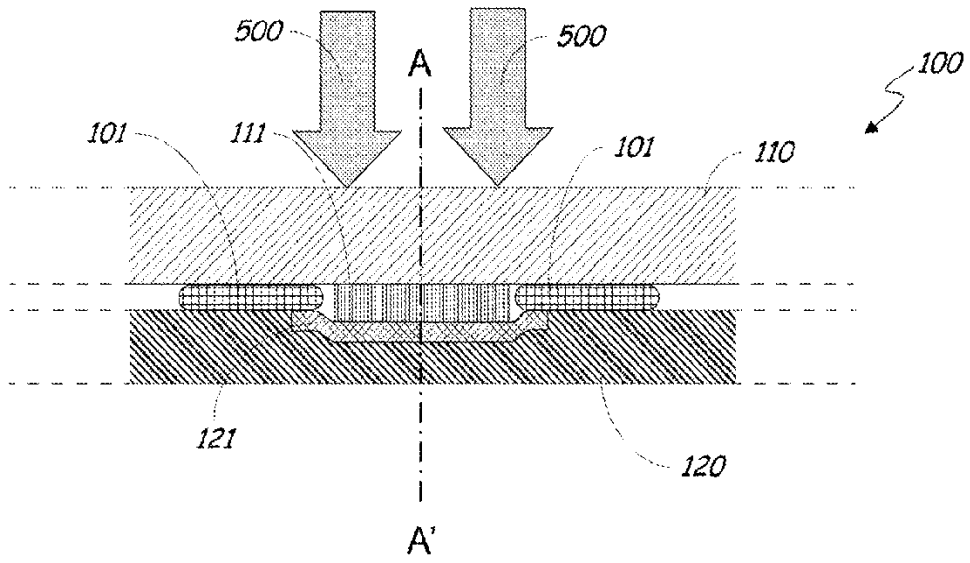


Fig. 1 A

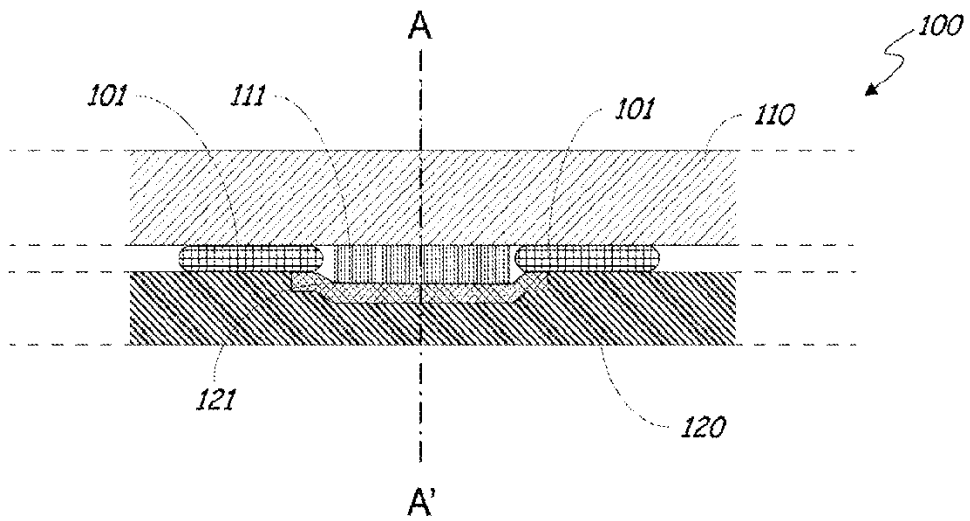


Fig. 1 A'

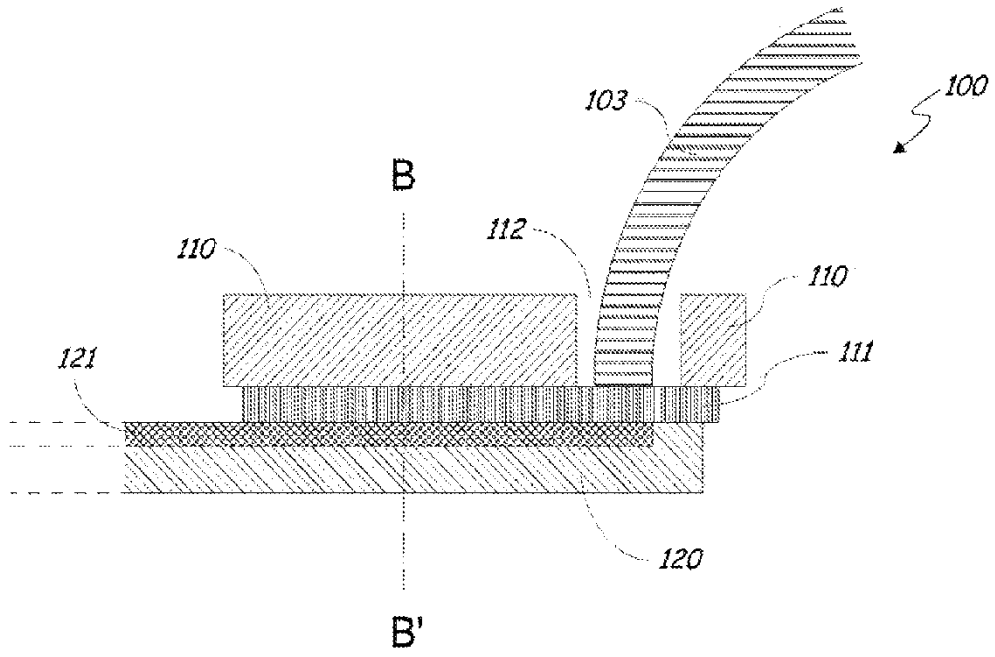


Fig. 1B

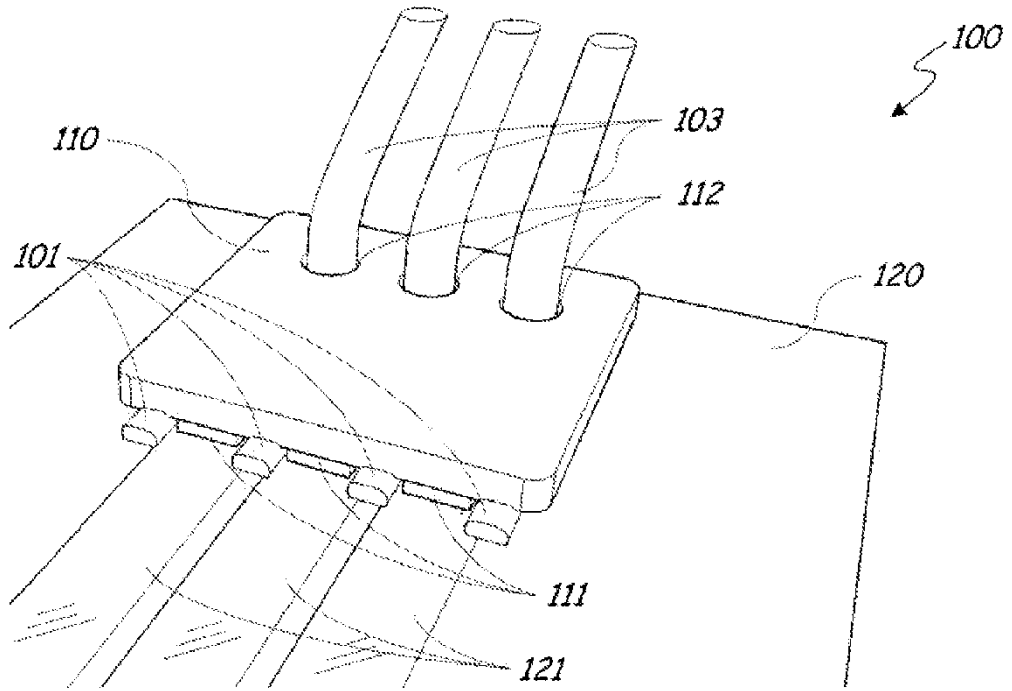


Fig. 2

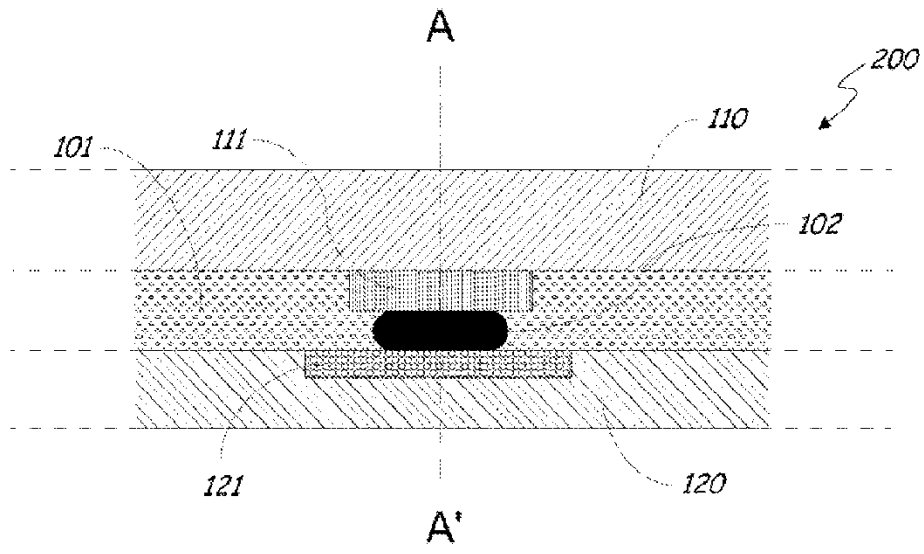


Fig. 3A

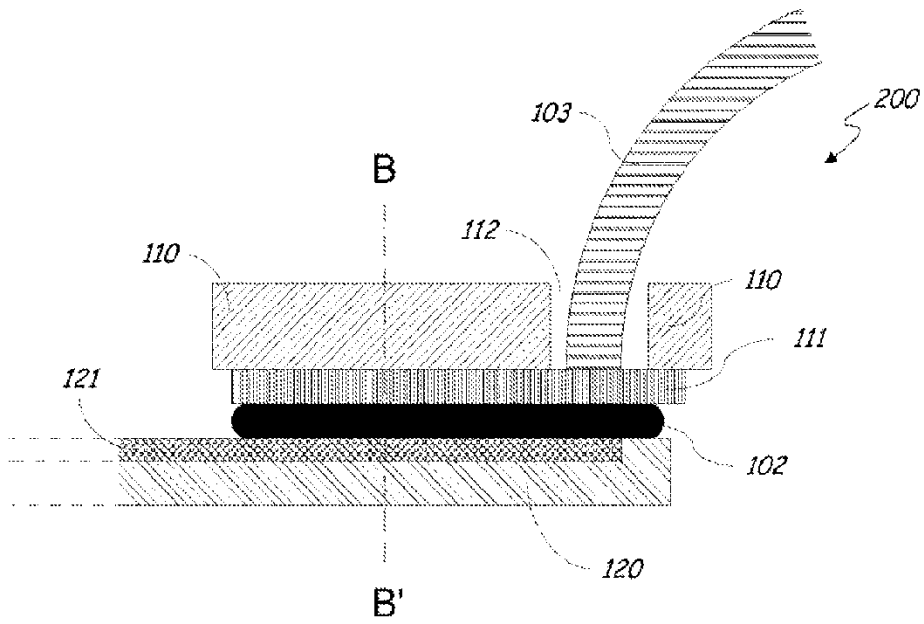


Fig. 3B

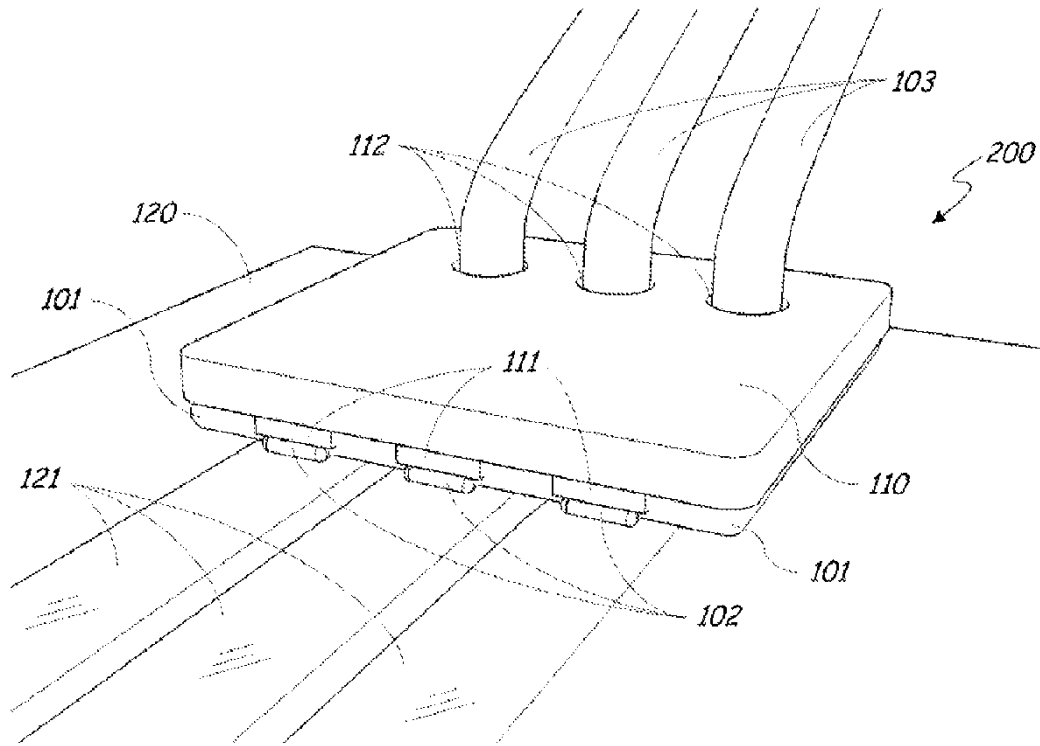


Fig. 4

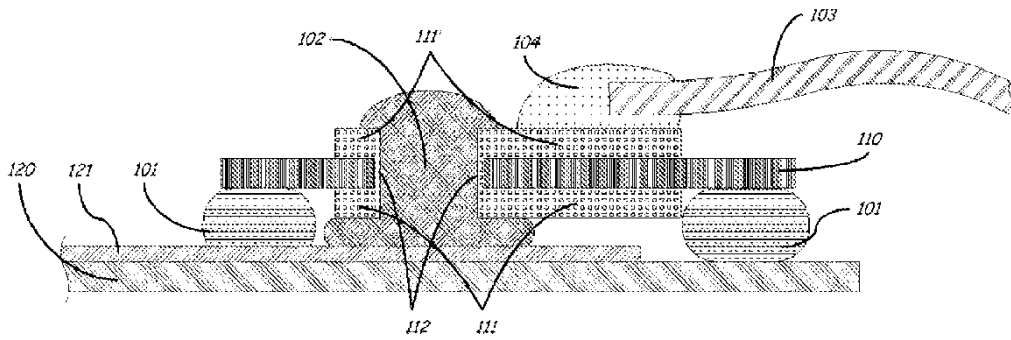


Fig. 5

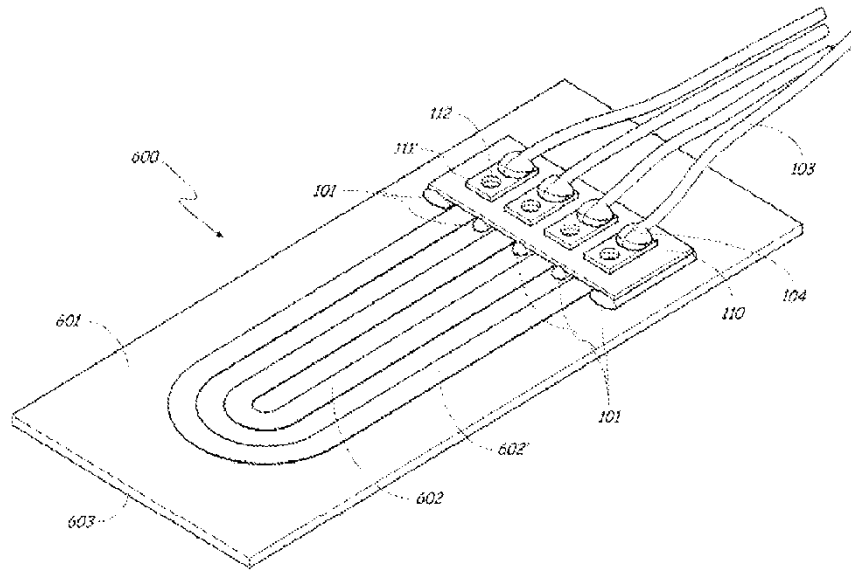


Fig. 6

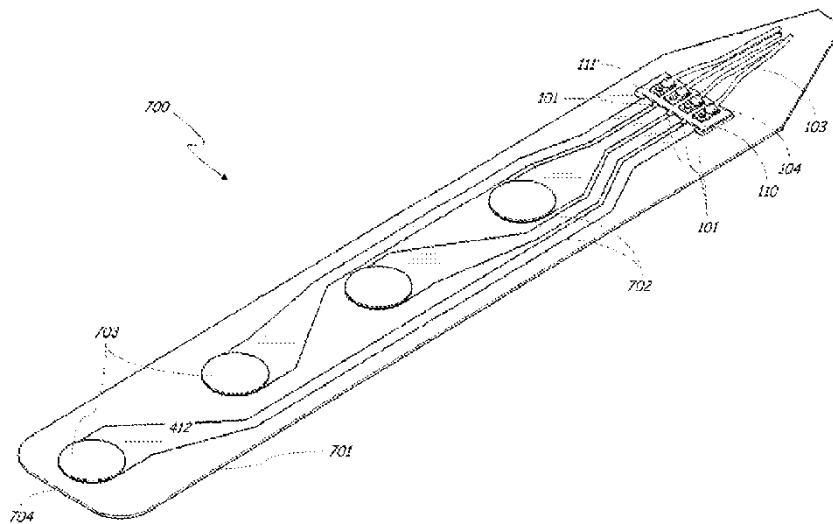


Fig. 7